

# Biomedikal Sinyal Analizi

Dr. A. Ruhi Soylu, MD, PhD  
Hacettepe Ün. Tıp Fakültesi  
Biyofizik Bölümü

# İÇERİK

- Tanımlar
- Sinyal Türleri
  - 1D: EEG,EMG,EOG, EKG, vs.,
  - 2D: X-ray filmler, USG, MRI, CT, Nükleer Tıp görüntüleri vs.
  - 3D: MRI, CT, video
- Örnekleme
- Aliasing
- Interpolasyon, Decimation&Downsampling

- 
- Fourier Transform'u
  - 1D&2D sinyaller için filtreler
  - Tıbbi görüntülerin sıkıştırılması

- 
- Tıbbi Sinyaller için bazı standartlar
  - Örnekler&Sorular

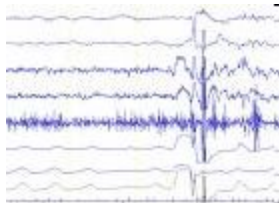
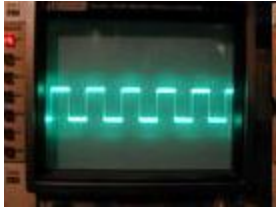
# Signal

- **Sinyal** (bu dersteki tanımı) : gerçel değerli, bir fiziksel veya sanal değişkeni temsil eden fonksiyon
  - **Analog Sinyal:** Süreklilik gösteren sonsuz miktarda sayı içeren sinyal.
  - **Digital Sinyal:** Bilgisayarda saklamaya uygun sonlu (=sınırlı sayıda) miktarda veri içeren sinyal
    - \* Sayı dizi ve matrisleri

# Analog Sinyaller

## Sonsuz sayıda sayı içerirler

Örnekler: Osiloskop, CRT ekran veya kağıt üzerindeki sinyaller (CRT ekran üzerindeki TV sinyalleri, kağıt üzerindeki EEG/EKG sinyalleri, film üzerindeki X-ray görüntüleri vs.)



# Dijital Sinyaller

Dijital Sinyaller bilgisayar ortamında saklanabilen sonlu sayıda sayılardan oluşurlar.

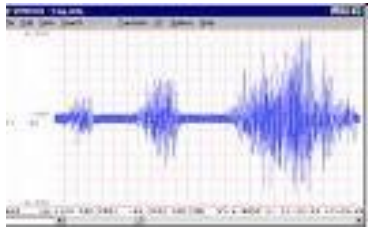
Örnekler:

- **digital** EKG / EEG/ EMG
- **digital** Röntgen, CT, hasta bölge fotoğrafı, vs

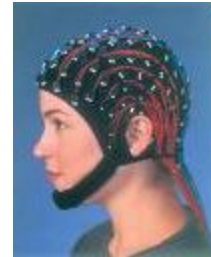
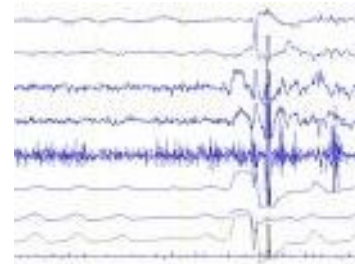


# 1 Boyutlu (1D) Sinyaller

1D sinyal

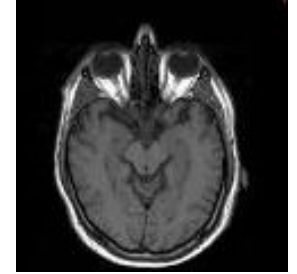
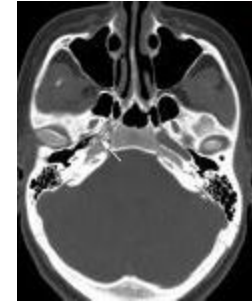
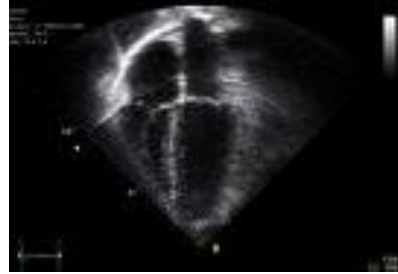
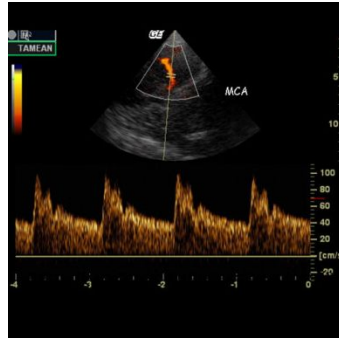


Çok kanallı 1D sinyal



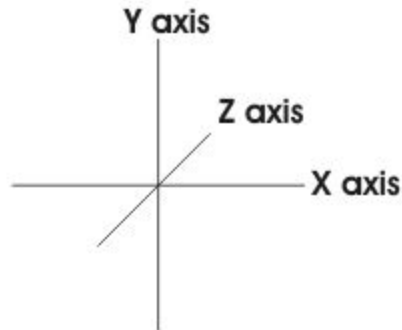
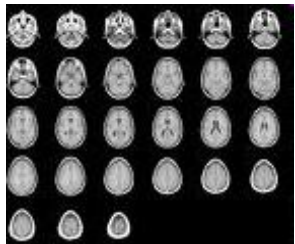
# İki boyutlu (2D) Sinyaller

~ 2D görüntüler (X-Ray film,CT, MR görüntüleri, hasta fotoğrafları vs.)



# 3 boyutlu (3D) sinyaller

Video, 3D MR, 3D CT veriler



3D CT/MR >  $x, y, z$  = uzunluk  
Video >  $x, y$  = uzunluk,  $z$  = zaman



# Örnekleme (Sampling)

**Örnekleme = Analog sinyalleri sayıya çevirme**

- Soru-1:** Pi sayısını bilgisayarda saklamak için ne kadar hafıza gerekir?
  - Sonsuz, çünkü pi sayısı tekrar içermeyen irrasyonel bir sayıdır
- Soru-2:** 0 ve 1 sayısı arasında kaç tane reel sayı vardır
  - Sonsuz
- Soru-3:** 1 saniyelik ANALOG EEG sinyalinde kaç tane reel sayı vardır?
  - Sonsuz
- Soru-4:** Sonsuz sayıdan oluşan 1 saniyelik EEG sinyalini bilgisayarda depolamak için ne yapmak gerekir?
  - Sonlu sayıda dijital sinyale çevirmek, yani örnekleme, gerekir, ☺

# Niye örnekleme yapılır?

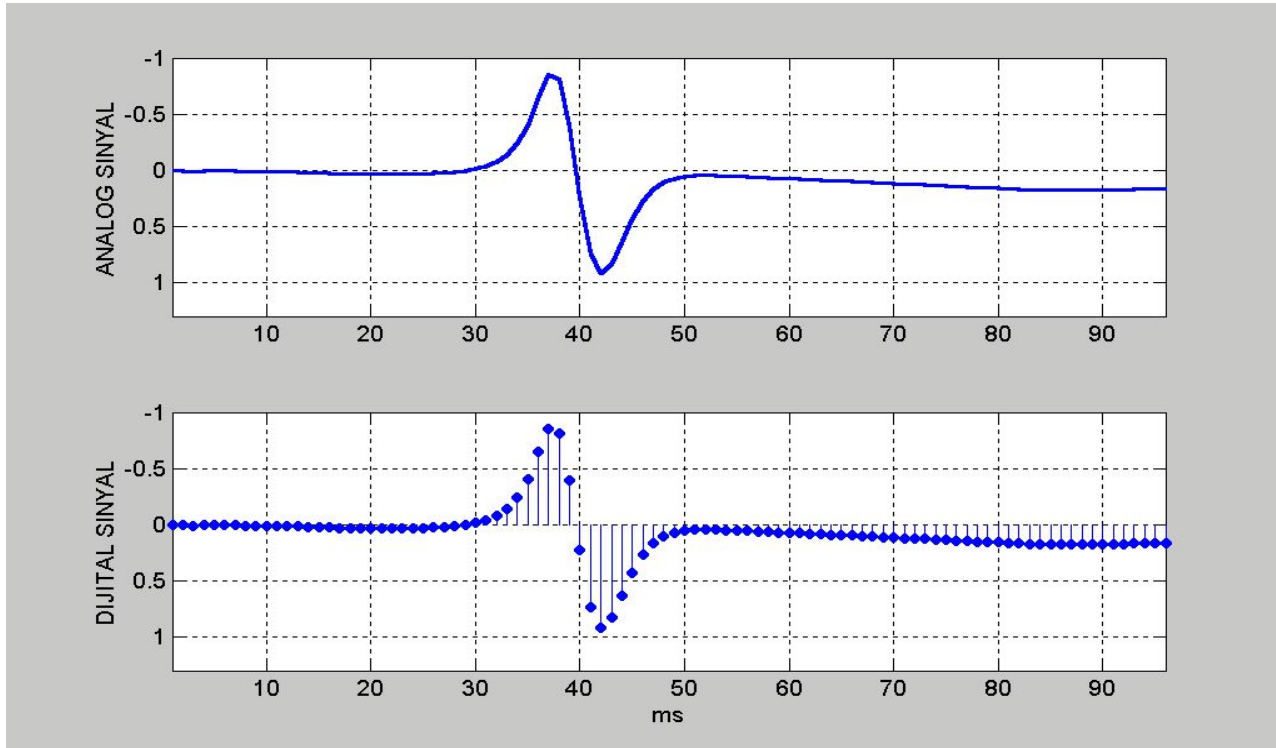
- Analog sinyalleri sayıya (dijitale) çevirmek için
- Hastane server'ında saklanan veriler bozulmaz ve saniler içinde bilgisayar ekranında veriye (örneğin EKG, X-ray görüntü) ulaşılabilir
- Çok kolay araştırma yapılabilir (örneğin sadece yazılımla)
  - Üzerinde filtreleme/hesaplama vs. yapılabilir
- Maliyeti çok düşüktür (analog veri elde etme ve saklamaya göre)
- vs.

# Tek boyutlu sinyallerin örnekleme

**Örnekleme periyodu (Sampling Period,  $T_s$ ):** Ardışık iki örnek arası süre.

**Örnekleme oranı/frekansı (Sampling rate/frequency) ( $f_s=1/T_s$ ):** Bir saniyede yapılan örnekleme sayısı (örnekleme periyodunun çarpmaya göre tersine eşittir). Birimi Hertz'dir (Hertz(Hz)=1/saniye)

Aşağıdaki figüre göre  $T_s=?$ ,  $f_s=?$  (30. ve 40. ms ler arasında yaklaşık 10 örnek var, bu nedenle örnekleme periyodu=10 ms/10 örnek=1 ms). Örnekleme frekansı=1/1 ms=1000 Hz



# ALIASING

Analog sinyallerin dijitalle çevrilmesi sırasında frekans bileşenlerinin hatalı aktarılması  
Aşağıdaki figürdeencies with a low sample rate.

**Kırmızı: Analog sinyal,**

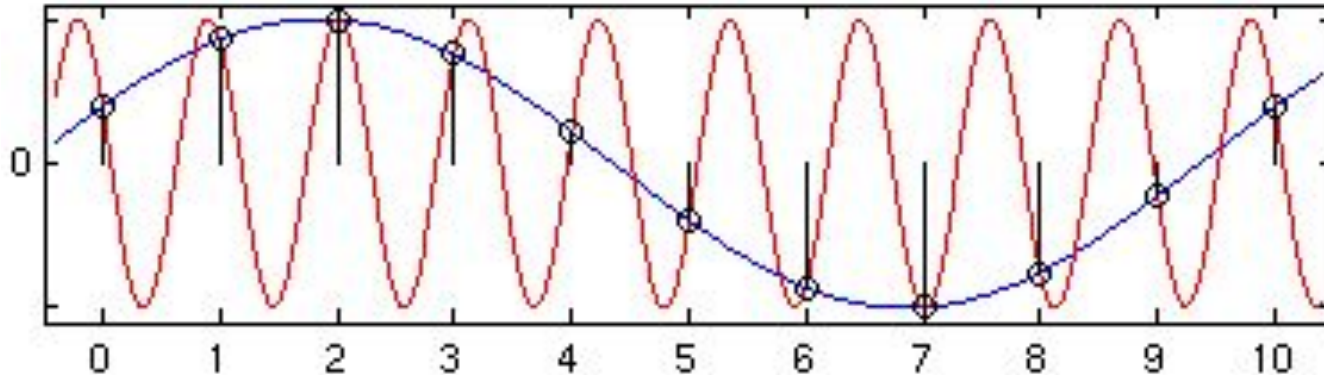
Daireler: Örnekleme noktaları

**Mavi: Örneklenmiş sayıların bilgisayar ekranında interpolate edilmiş (araları doldurulmuş) halı**

SORU 1-) Grafikte yatay eksen saniye olduğune göre, analog (kırmızı) ve dijital (mavi) sinyalin periyodu ve frekansı nedir?

CEVAP: 0.85 Hz ve 0.1 Hz.

Analog sinyal, periyodu 1/0.85 saniye olan bir sinüstür. Dijital sinyalin periyodu ise 10 saniyedir. İşte sinyal çevrilmesi sırasında yapılan bu hataya **aliasing** denir.



## SORULAR

1-) Aşağıdaki sinyalin frekans ve periyodu nedir?

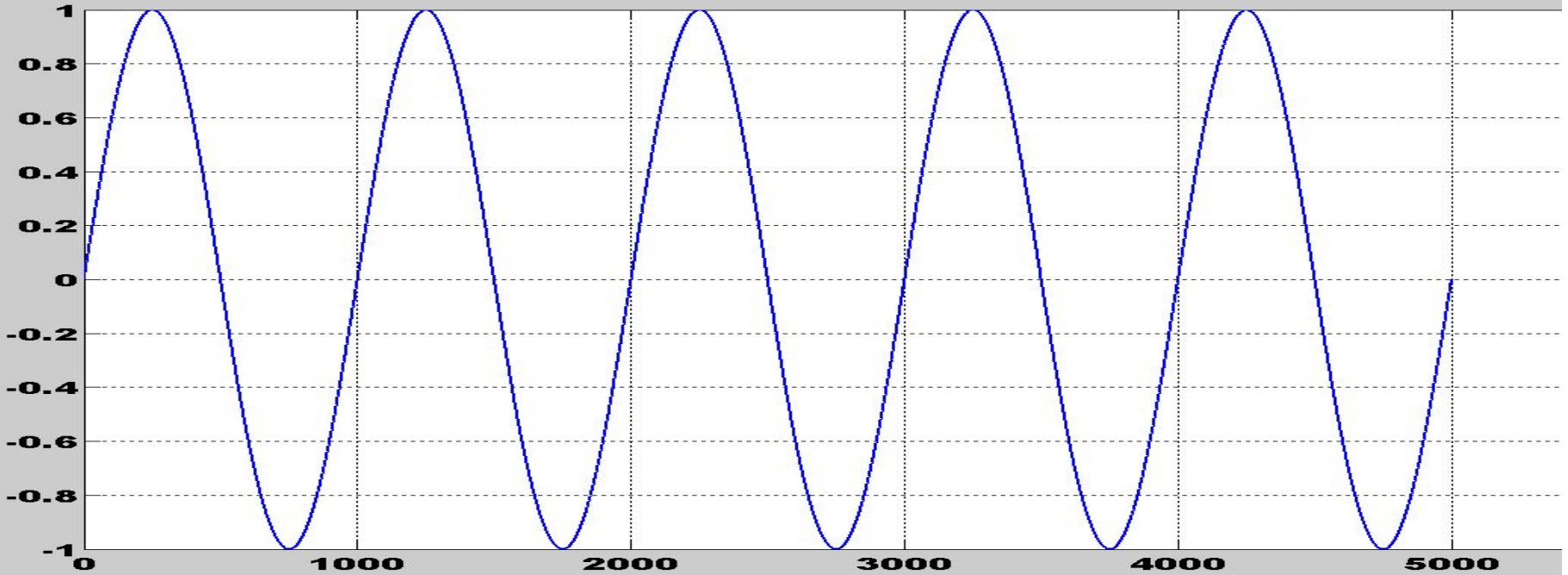
2-) Örnekmeye  $t=0$  anında başlarsak ve örnekleme periyodu ( $T_s$ ) 0.5 saniye ise ardışık 5 dijital sinyal nedir?

3-) Örnekmeye  $t=0.5$  inci saniyede başlarsak ve örnekleme periyodu ( $T_s$ ) 0.25 saniye ise ardışık 5 dijital sinyal nedir?

C1: 1 sn ve 1 Hz

C2: 5 adet sıfır

C3: 0, -1, 0, 1 ve 0



Volt vs. ms

# 2D sinyallerin örnekleme

2 boyutlu sinyaller için 2 eksen olduğundan (x,y veya yatay ve düşey eksen) 2 farklı örnekleme periyodu/frekansı vardır.

X-Ray film



$\Rightarrow$

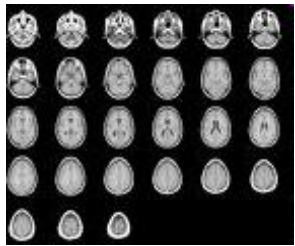
2D matrix of numbers

...	...	...	...	...
...	<b>256</b>	<b>127</b>	<b>46</b>	...
...	<b>256</b>	<b>121</b>	<b>46</b>	...
...	<b>128</b>	<b>110</b>	<b>45</b>	...
...	...	...	...	...

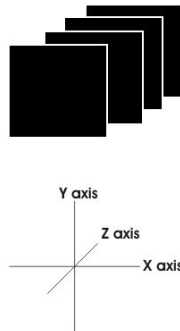
# 2D sinyallerin örneklelenmesi

3 farklı örnekleme periyodu var. CT ve MRI için 3 boyutun tümünün birimi de uzunluk. Video sinyalleri için ise 2 boyut uzunluk, 3. boyut ise zamandır.

3D matrix of numbers



=>



=>

...	...	...	...
256	127	46	...
256	121	46	...
128	110	45	...

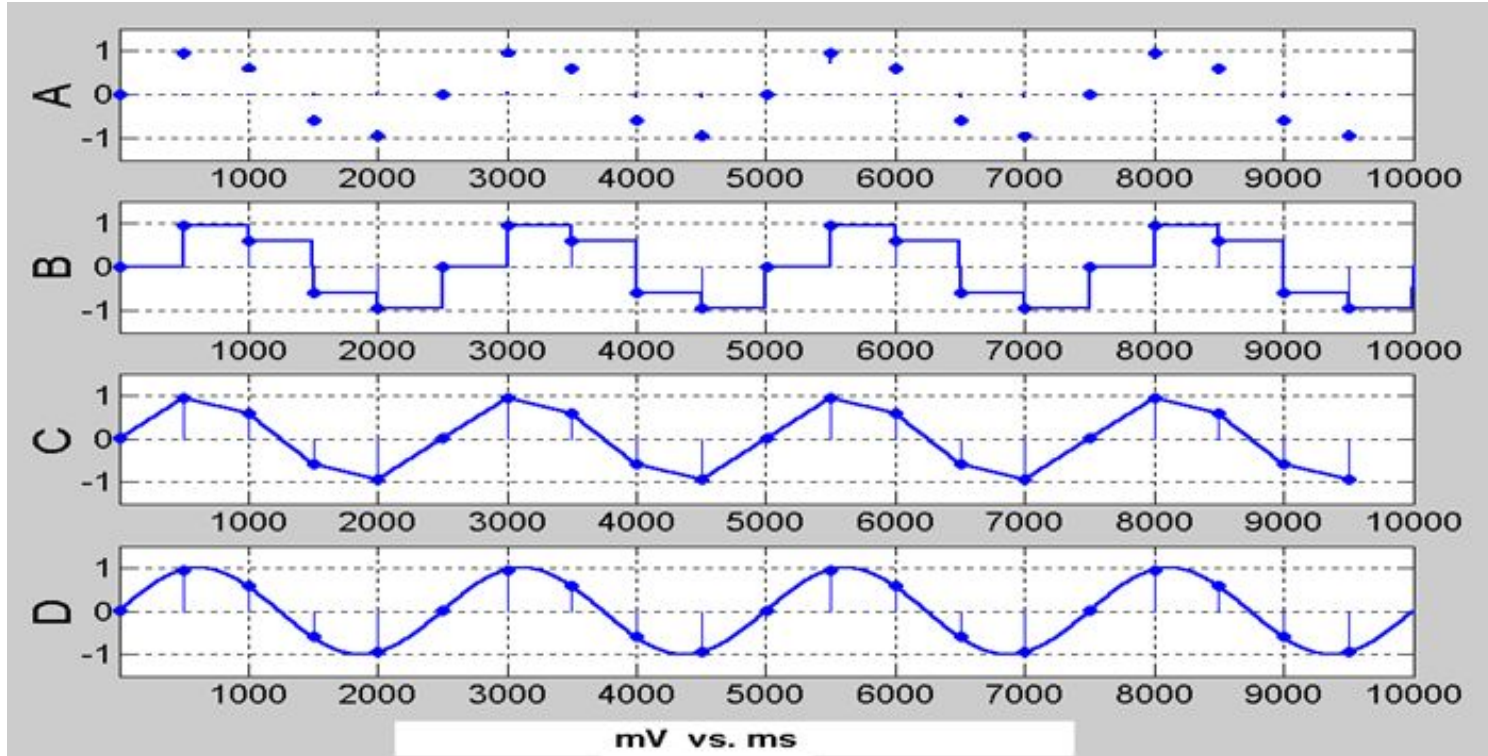
# Dijital sinyallerde interpolasyon, decimation ve downsampling

- **interpolation:** dijital sinyalin boyutunun arttırılması.
- **downsampling** (or "subsampling"): dijital sinyalin boyutunun azaltılması.
- **Decimation:** downsampling işlemine benzer bir yöntem (downsampling'e göre daha aliasing olasılığı daha azdır).



# Tek boyutlu sinyallerde interpolasyon

- Pek çok interpolasyon metodu var. Aşağıda **A** figüründeki mavi daireler dijital sinyale karşılık geliyor. Bilgisayar ekranında bu sinyali ekranda göstermek için aralardaki boşlukları doldurmak yani interpolasyon yapmak gerekir. **B**, **C** ve **D** figürlerinde 3 farklı yolla dijital sayıların araları mavi çizgilerle doldurulmuş yani interpolasyon uygulanmıştır (**A**: yatay çizgilerle, **B**: 1. derece doğrularla, **C**:kivrımlı eğrilerle). Dikkat edilecek olursa **C** figüründeki interpolasyon daha güzel (?) görünmektedir.

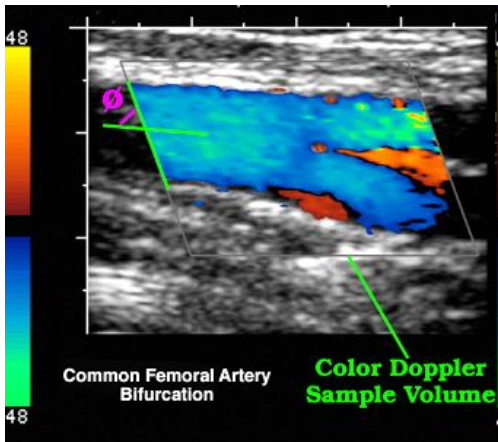


# interpolasyon

- Interpolation vektör yada matrixin uzunluğunu arttırır
- Örnek:
  - X:orijinal sinyal ( $=[1 \ 3 \ 5 \ 7]$ )
  - Y: interpolate edilmiş sinyal( $=[1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7]$ )
  - Dikkat Y sinyalinin boyu X sinyalinden daha fazladır

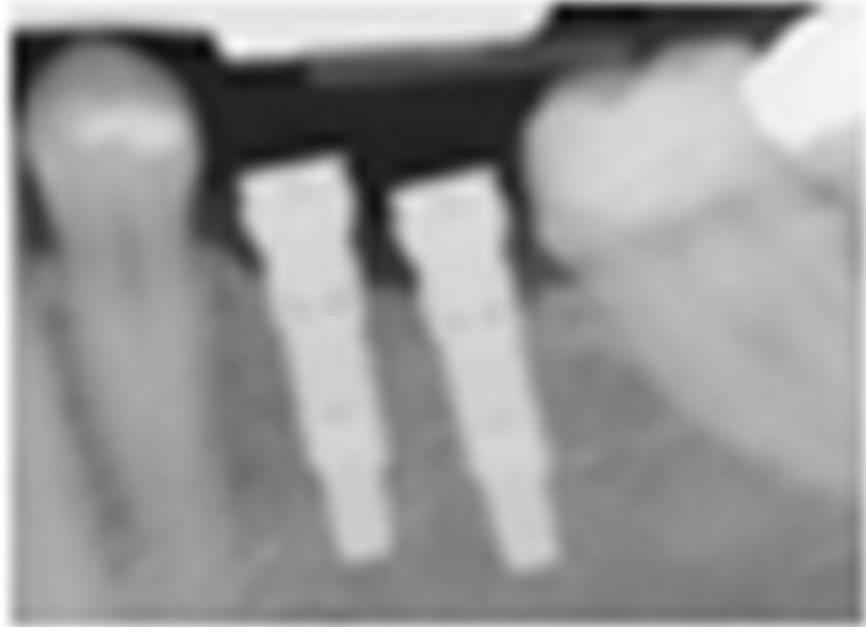
# 2D interpolasyon

- Çoğu tıbbi görüntü interpolasyon içerir.



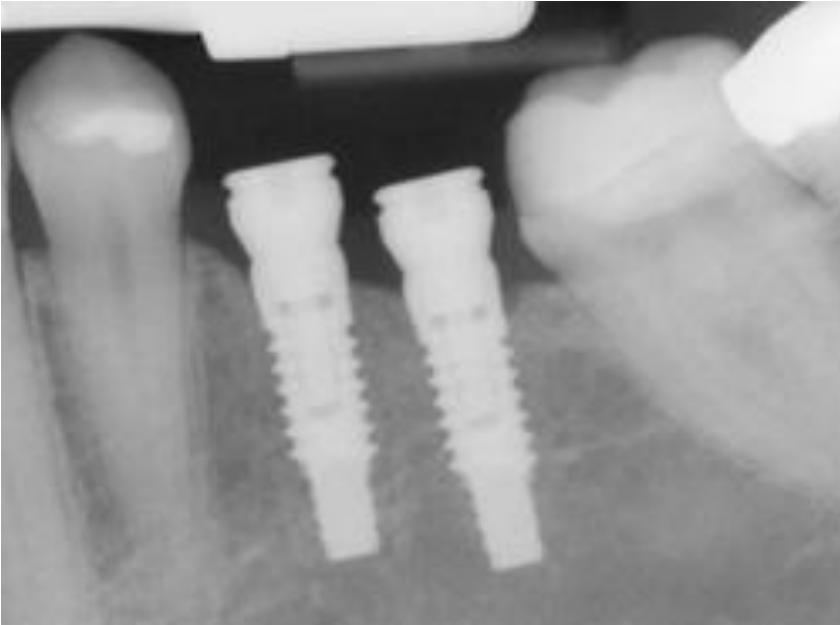
# 2D interpolasyon

- Soldaki görüntüye aşırı zoom-in (büyültme) yapılırsa yüksek derecede interpolasyon nedeniyle sağdaki görüntü elde edilir. Yanlış teşhis olasılığına dikkat: ayrıntılar kaybolabilir ve/veya olmayan şeyler görülebilir.



# 2D interpolasyon

- Sağda, soldaki görüntü ileri derecede downsample edildikten sonra interpolate edilmiş hali var. Ayrıntı kaybına dikkat (örnek: vida adımları sağda kaybolmuş).



# DOWNSAMPLING & DECIMATION

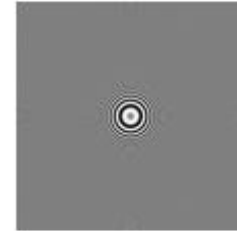
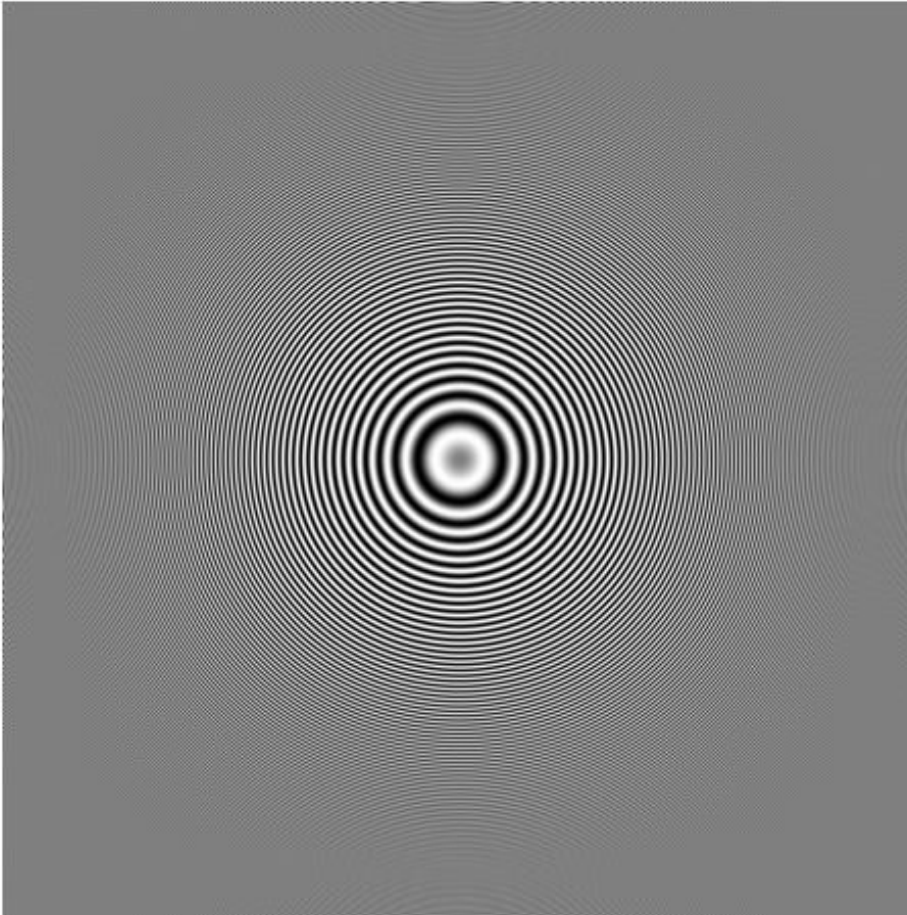
- Sinyalin boyunu kısaltır
- X: orijinal sinyal
- Y: downsampled sinyal
- $X = [1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0]$
- $Y = [1\ 1\ 1\ 1\ 1]$
- Dikkat edilirse X sinyali aliasing'e uğradı (X sinyalindeki sayılar periyodik olarak değişirken  $[0\ 1\ 0\ 1\dots]$ , Y sinyalinde aliasing nedeniyle değişim yok  $[1\ 1\ 1\ 1\dots]$ )
- Aliasing'ten kurtulmak için decimation işlemi denenebilir (dikkat: decimation da da orijinal sinyalin boyu kısalmır)

# DOWNSAMPLING & DECIMATION

- Downsampling/decimation decreases size of signal vector/matrix
- X: original signal (= [1 2 3 4 5 6 7])
- Y: downsampled signal (= [1 3 5 7])
- Length of Y < Length of X

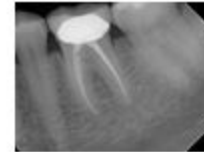
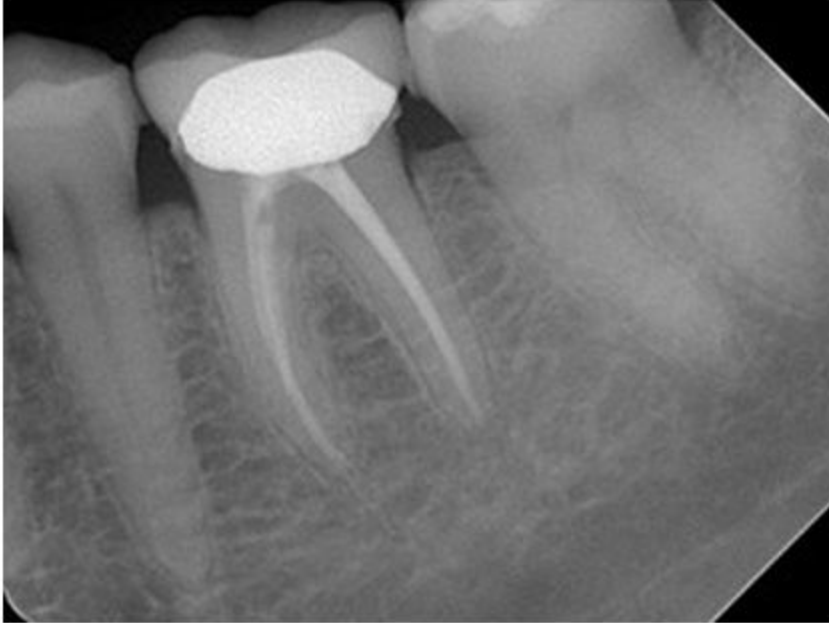
# 2D downsampling/decimation

- Sol altta orijinal, sağ altta iğse downsample edilmiş hali var. Aliasing net olarak görülüyor.
- Bir görüntüye aşırı zoom-out yapılırsa (görüntü aşırı küçültülürse) aliasing nedeniyle detay kaybı olabilir.
- Soru: hangi sinyalin boyu daha kısa?



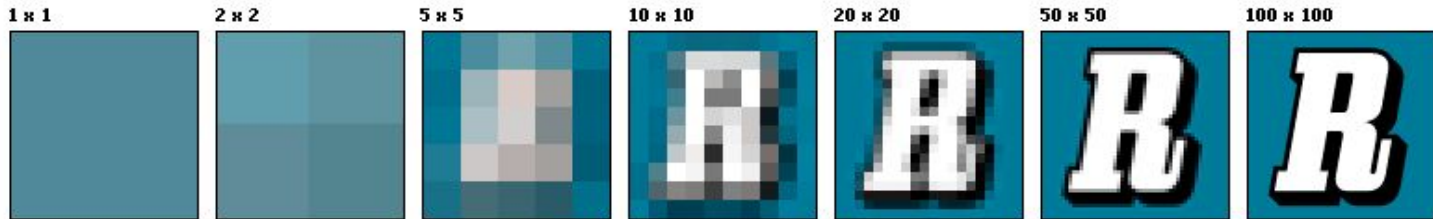


- Aşağıdaki downsample edilmiş görüntünün detay kaybına dikkat

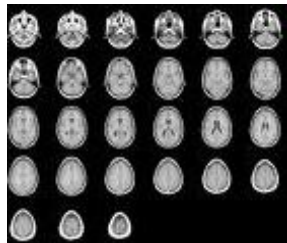


# Ek tanımlar

- **Amplitüd (Amplitude):** büyüklük (daima pozitifdir)
- **Rezolüsyon (Resolution):** konuya göre pek çok tanımı var: Dijital görüntülemeindeki tanımı birbirinden farklı ama yakın iki noktayı ayıd edebilme kapasitesi (örneğin rezolüsyonu yüksek bir cihaz daha küçük yapıları gösterebilir). Dijital fotoğraf ve imajlardaki tanımı ise görüntünün boyutlarını tanımlar (örneğin yatay ve düşey çözünürlükleri sırasıyla 1000 ve 800 olan bir dijital 2D görüntü 800 bin pixel'den oluşur).



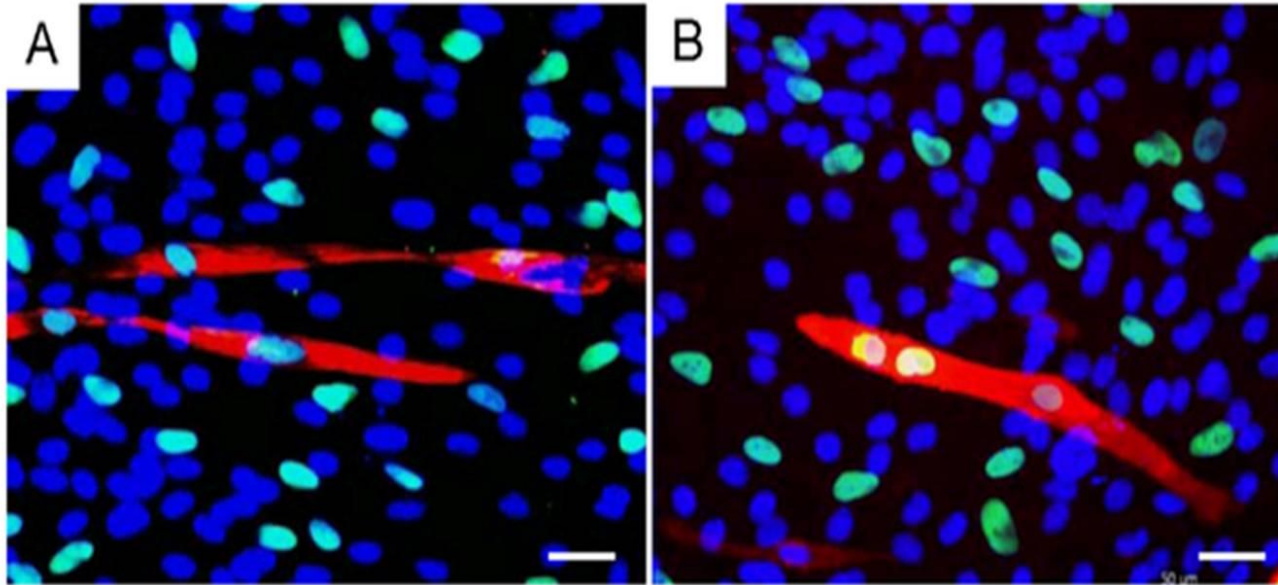
- MRI/CT: uzaysal resolution, dilim resolüsyonu
- In following MRI image (every image=40 cm x 40 cm), assume that the image's pixel resolution is 200 x 200 and slice length is 0.5 cm. What is the 3D resolution?
  - A pixel on image :  $400\text{mm}/200\text{pixel} \times 400\text{mm}/200\text{pixel} = 2\text{mm} \times 2\text{mm}$
  - A voxel (volumetric pixel):  $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$



You want to see a 2 mm x 2mm x 2mm structures in MRI:  
Is 5 mm slice resolution sufficient?

# Örnek: ışık mikroskopu (IM)

- Aşağıdaki IM görüntüsündeki bir hücrenin boyunu nasıl ölçeriz?



**Figures A and B:** myogenic progenitor cells derived from dental stem cells fuse into multinucleated muscle cells

- 1-) Görüntü üzerinde referans bir uzunluk olmadan ölçüm yapılamaz
- 2-) Eğer doğru olarak girilmişse dijital görüntünün DPI (dot per inch=pixel /inç) özelliğinden hesaplayabiliriz (uzunluğun kaç pixel olduğunu ölçüp, DPI özelliğinden pixel'i uzunluğa çevirebiliriz)

